Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 2, May-June 2024, p. 239-252

Effects of Different Ratios of Urea:Nitrate in Nutrient Solution on the Growth and Nitrate Accumulation of Red French Lettuce in Soilless Culture

S. Naseri[1], Sh. Kiani[2*], H.R. Motaghian[2]

1 and 2- Former M.Sc. Student and Associate Professor of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: shkiani2002@yahoo.com)

Received: 15-01-2024 Revised: 18-02-2024 Accepted: 06-03-2024 Available Online: 06-03-2024	**How to cite this article:** Naseri, S., Kiani, Sh., & Motaghian, H.R. (2024). Effects of different ratios of urea:nitrate in nutrient solution on the growth and nitrate accumulation of red French lettuce in soilless culture. *Journal of Water and Soil, 38*(2), 239-252. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2024.86415.1372

Introduction

Urea is one of the nitrogen chemical fertilizers for vegetable production in soil. But it is seldom used in soilless cultures. Leafy vegetables such as Lettuce (*Lactuca sativa* L.) contain high levels of nitrate and attempts have been made to reduce the nitrate concentration in this crop for human consumption. Using reduced forms of nitrogen, i.e. urea, is one of the applied strategies for reducing nitrate accumulation in lettuce. Little information is available concerning urea as a source of nitrogen for production of leafy vegetables such as lettuce in soilless culture. This experiment was conducted to investigate the effect of different ratios of urea:nitrate in nutrient solution on the growth indices, yield and nitrate accumulation of red French lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Lolla Rossa) in soilless culture.

Materials and Methods

A hydroponic experiment using completely randomized design was carried out with seven ratios of urea:nitrate in nutrient solution and four replications in the research greenhouse of Shahrekord University. Urea:nitrate ratios in nutrient solution were: 0:100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50 and 60:40. Lettuce seedlings were grown in 2 L plastic pots (one plant per pot) containing mixture of cocopeat + perlite at the ratio of 2:1 (v/v) and were manually fertigated with nutrient solutions on a daily basis. Four weeks after transplanting, lettuce plants were harvested and fresh weights of shoot and root were determined. Plant growth indices including of plant height, plant diameter, leaf length, leaf width, leaf number, leaf greenness index and leaf brix level were measured. After measuring the growth indices, the leaves were grouped separately according to leaf numbers 1-10=outer leaves, >11= inner leaves. The samples were dried in an oven at 60 °C and were ground. Nitrate concentrations in samples were determined calorimetrically using a spectrophotometer at a wavelength of 410 nm. Analysis of variance was performed using SAS software version 9.4. Means comparison was conducted using least significant difference test at 0.05 probability level.

Results and Discussion

The results indicated that application of different ratios of urea to nitrate in nutrient solution had not significant effect on the lettuce growth indices including of plant diameter, leaf length, leaf width, leaf number, leaf greenness index and leaf brix level in comparison with 0:100 of urea:nitrate ratio. Also, root and shoot fresh weights were not affected by urea:nitrate ratio in nutrient solution. The greatest quantity of shoot fresh weight (141 g per plant) was obtained with a 50:50 urea:nitrate ratio. However, this was not significantly different from the shoot fresh weight (125

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.86415.1372

g per plant) observed when urea was not included in the nutrient solution. Shoot nitrogen concentration (except for plants nourished with a 50:50 urea:nitrate ratio) was not affected by increasing the urea:nitrate ratio in the nutrient solution. The results revealed that application of urea in nutrient solution effectively provided the nitrogen requirement of lettuce. This indicates that lettuce plants can efficiently hydrolyze urea and use it efficiently as a nitrogen source. Application of urea in the nutrient solution led to significant decrease in the nitrate concentration of lettuce root ($P< 0.05$). Moreover, increasing urea:nitrate ratio in nutrient solution resulted in significant decrease of the nitrate concentration of outer leaves, inner leaves and all leaves of lettuce ($P< 0.01$). The highest and lowest nitrate concentration in inner, outer and all leaves of lettuce were obtained in plants nourished with 0:100 and 50:50 urea:nitrate ratio in nutrient solution, respectively. Application of urea:nitrate ratio of 50:50 led to the meaningful decrease of nitrate concentration in root (43%), outer leaves (41%), inner leaves (44%) and all leaves (43%) of lettuce in comparison with 0:100 of urea:nitrate ratio. Urea had a repressive effect on nitrate influx and decreased its uptake by plants. Also, after urea uptake by plant root, it is first degraded by cytosolic ureases and then ammonium is incorporated via the GS-GOGAT (Glutamine Synthetase- Glutamine α-OxoGlutarate Amino Transferaze) cycle. Therefore, application of urea in nutrient solution can lead to the reduction of nitrate accumulation in plants.

Conclusion

Based on the shoot fresh weight and nitrate concentration in lettuce leaves, replacing 50% of nitrate in nutrient solution with urea is recommended for red French lettuce production in hydroponic culture under the conditions of the present study. Compared to other nitrogen fertilizers, urea has a lower price and its application in nutrient solution is useful in reducing production costs.

Keywords: Hydroponic, Leafy vegetables, Methemoglobinemia, Nitrogen form

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۸، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۳، ص. ۲۳۹-۲۵۲

تأثیر نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی بر رشد و تجمع نیترات کاهوی فرانسوی قرمز در کشت بدون خاک

سحر ناصری[۱] - شهرام کیانی[۲]* - حمیدرضا متقیان[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶

چکیده

اوره یکی از کودهای شیمیایی نیتروژن برای تولید سبزی‌ها در خاک است که به ندرت در کشت‌های هیدروپونیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی بر شاخص‌های رشدی و تجمع نیترات در کاهوی فرانسوی قرمز رقم لولا رزا (*Lactuca sativa* L. cv. Lolla Rossa) انجام شد. این آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با هفت نسبت اوره به نیترات محلول غذایی در چهار تکرار به‌صورت کشت بدون خاک در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام شد. نسبت‌های اوره به نیترات محلول غذایی شامل صفر به ۱۰۰، ۱۰ به ۹۰، ۲۰ به ۸۰، ۳۰ به ۷۰، ۴۰ به ۶۰، ۵۰ به ۵۰ و ۶۰ به ۴۰ بودند. نتایج نشان داد کاربرد نسبت‌های مختلف اوره به نیترات در محلول غذایی تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشدی کاهو از قبیل قطر گیاه، طول برگ، عرض برگ، تعداد برگ، شاخص سبزینگی برگ و میزان بریکس برگ در مقایسه با نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات نداشت. همچنین وزن تازه ریشه و شاخساره کاهو تحت تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی قرار نگرفت. بیشترین وزن تازه شاخساره کاهو (۱۴۱ گرم بر گیاه) با کاربرد نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات حاصل شد که با عدم کاربرد اوره (۱۲۵ گرم بر گیاه) تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج نشان داد غلظت نیتروژن شاخساره (به استثنای گیاهان تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات) تحت تأثیر افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی قرار نگرفت. با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی غلظت نیترات در ریشه، برگ‌های بیرونی، درونی و کل کاهو به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین غلظت نیترات در ریشه، برگ‌های بیرونی، درونی و کل کاهو به‌ترتیب در گیاهان تغذیه شده با نسبت‌های صفر به ۱۰۰ و ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی حاصل شد. نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد اوره در محلول غذایی منجر به تأمین نیتروژن کاهو شد. این نشان می‌دهد گیاهان کاهو به‌طور مؤثری اوره را هیدرولیز کرده و به‌صورت کارا از آن به‌عنوان منبع نیتروژن استفاده کرده‌اند. براساس وزن تازه شاخساره و غلظت نیترات در کل برگ‌های کاهو، جایگزینی ۵۰ درصد نیترات محلول غذایی با اوره برای تولید کاهوی فرانسوی قرمز در کشت هیدروپونیک در شرایط این پژوهش توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سبزی‌های برگی، شکل نیتروژن، مت‌هموگلوبینیمیا، هیدروپونیک

مقدمه

به‌طور کلی برای تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاهان در کشت‌های بدون خاک عمدتا از منبع نیترات استفاده می‌شود. اما در سال‌های اخیر استفاده از اوره برای تأمین بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه گسترش بیشتری یافته است. براساس پژوهش‌های انجام شده زمانی که اوره و نیترات به صورت ترکیبی در محلول غذایی به‌کار برده شوند عملکرد گیاهان بهبود یافته و یا در برخی از موارد تفاوتی از نظر عملکرد بین گیاهان تغذیه شده با نیترات به تنهایی و کاربرد ترکیبی اوره و نیترات مشاهده نشده است. به‌عنوان مثال ژو و همکاران (Zhu *et al*., 1997) گزارش کردند جایگزینی ۲۵ و ۵۰ درصد نیترات محلول غذایی با اوره

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: shkiani2002@yahoo.com)

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.86415.1372

منجر به بهبود رشد پاک چوی[1] شد. در همین زمینه باریوسف و همکاران (Bar-Yosef *et al.*, 2009) گزارش کردند تغذیه گل‌های رز با محلول غذایی دارای نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات برای عملکرد مفید بود زیرا منجر به کاهش غلظت آمونیوم در محلول و افزایش pH محلول غذایی شد. گونس و همکاران (Gunes *et al.*, 1996) نشان دادند جایگزینی ۲۰ درصد نیترات محلول غذایی با اوره، اسید آمینه گلایسین و یا مخلوط اسیدهای آمینه اثری بر وزن تازه پیاز نداشته است. خان و همکاران (Khan *et al.*, 1999) در کشت هیدروپونیک اسفناج نشان دادند که جایگزینی ۲۰ و ۵۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی با اوره تأثیر معنی‌داری بر حداکثر طول برگ و تعداد برگ گیاه در مقایسه با عدم کاربرد اوره (مصرف نیتروژن به‌صورت نیترات و آمونیوم) نداشت. آن‌ها پیشنهاد کردند اوره می‌تواند به‌عنوان منبع احتمالی نیتروژن در کشت‌های هیدروپونیک به کار برده شود. طباطبایی (Tabatabaei, 2009) گزارش کرد که وزن تازه برگ و درصد ماده خشک خیار تحت تأثیر نوع تغذیه نیتروژن با اوره و یا نیترات به تنهایی قرار نگرفت. خوشگفتارمنش و بهمن زیاری (Khoshgoftarmanesh & Bahmanziari, 2012) گزارش کردند در صورت تأمین نیکل کافی، می‌توان از اوره به‌عنوان منبع تأمین نیتروژن برای خیار (رقم نگین) در محیط‌های کشت بدون خاک استفاده کرد. سیلوا و همکاران (Silva *et al.*, 2013) گزارش کردند کاربرد نیتروژن به‌صورت نیترات و یا اوره تأثیری بر درصد ماده خشک غده در سه رقم سیب‌زمینی در کشت هیدروپونیک نداشت. آن‌ها کاربرد ترکیبی نیتروژن از منبع اوره و نیترات را برای پرورش سیب‌زمینی در شرایط هیدروپونیک توصیه کردند. با این وجود در برخی از موارد نیز کاربرد اوره در محلول غذایی منجر به کاهش عملکرد گیاه شده است (Luo *et al.*, 1993). به‌عنوان مثال ژو و همکاران (Zhu *et al.*, 2018) عنوان کردند جایگزینی ۲۰ درصد از نیترات محلول غذایی با اوره و اسید آمینه گلیسین در کلم‌پیچ چینی منجر به کاهش قابل توجه زیست‌توده این گیاه شد.

بسیاری از سبزی‌های برگی از قبیل کاهو تجمع‌دهنده نیترات هستند. نیترات در بدن انسان به‌وسیله باکتری‌ها به نیتریت تبدیل و پس از جذب باعث ایجاد عارضه مت‌هموگلوبینیما[2] می‌شود که این امر می‌تواند در نوزادان باعث ایجاد سندروم نوزاد کبود شود. از طرف دیگر نیتریت با ترکیبات نیتروساتابل[3] از قبیل آمیدها و آمین‌ها در معده انسان واکنش داده و منجر به تولید ترکیبات ان- نیتروزو می‌شود (Santamaria, 2006) که برخی از ترکیبات آن مثل نیتروزآمین سرطان‌زای قوی در گونه‌های حیوانی بوده و بنابراین می‌توانند منجر به سرطان در انسان شوند (Risch *et al.*, 1985). نتایج تحقیقات انجام شده حاکی از آن است که کاربرد اوره و نیترات به‌صورت ترکیبی در محلول غذایی منجر به کاهش تجمع نیترات در سبزی‌ها شده است. لو و همکاران (Luo *et al.*, 1993) گزارش کردند جایگزینی اوره به جای نیترات می‌تواند از تجمع نیترات در کاهو جلوگیری کند. به‌طور مشابه جایگزینی ۲۰ درصد نیترات با اوره، اسید آمینه گلایسین و یا مخلوط اسیدهای آمینه منجر به کاهش غلظت نیترات و افزایش غلظت نیتروژن در پیاز شد (Gunes *et al.*, 1996). نتایج تحقیقات خان و همکاران (Khan *et al.*, 1999) در کشت هیدروپونیک اسفناج نشان داد با افزایش اوره در محلول غذایی از صفر به ۵۰ درصد کل نیتروژن، غلظت نیترات شاخساره اسفناج به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین مریگوت و همکاران (Merigout *et al.*, 2008a) کاهش غلظت نیترات در گندم و ذرت تغذیه شده با اوره و سولفات آمونیوم را در مقایسه با نیترات آمونیوم در شرایط هیدروپونیک گزارش کردند. در پژوهشی دیگر مشخص شد غلظت نیترات در میوه بوته‌های خیار تغذیه شده با اوره در مقایسه با بوته‌های تغذیه شده با نیترات حدودا ۵۰ درصد کاهش یافت (Tabatabaei, 2009). خوشگفتارمنش و همکاران (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2011) گزارش کردند کاربرد اوره در مقایسه با نیترات آمونیوم غلظت نیترات برگ کاهو را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. همچنین جایگزینی ۲۰ درصد از نیترات محلول غذایی با هر یک از شکل‌های نیتروژن (آمونیوم، اوره و اسید آمینه گلیسین) میزان نیترات را به میزان قابل‌توجهی در کلم‌پیچ چینی کاهش داد (Zhu *et al.*, 2018). بنابراین با توجه به موارد فوق تحقیق حاضر سعی دارد اثر نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی را بر رشد و تجمع نیترات کاهوی فرانسوی قرمز در کشت بدون خاک مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با هفت تیمار شامل نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی در چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد روی کاهوی فرانسوی قرمز رقم لولا رزا به‌صورت هیدروپونیک انجام شد. نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی شامل صفر به ۱۰۰، ۱۰ به ۹۰، ۲۰ به ۸۰، ۳۰ به ۷۰، ۴۰ به ۶۰، ۵۰ به ۵۰ و ۶۰ به ۴۰ بودند. به‌منظور اجرای آزمایش، بذرهای کاهو پس از ضدعفونی توسط محلول هیپوکلریت سدیم ۱٪ در سینی کشت نشا حاوی کوکوپیت و پرلیت (با نسبت ۲ به ۱ حجمی/حجمی) کاشته شده و روزانه توسط آب مقطر آبیاری شدند. پس از ظهور دو برگ اولیه، کودآبیاری نشاها با یـک چهـارم غلظت محلول غـذایی دمینگوس و همکاران (Domingues *et al.*, 2012) انجام گرفت. به تدریج و با افزایش رشد نشاهای کاهو از محلول‌های غذایی

1- Pak-choi (*Brassica chinensis* L.)
2- Methemoglobinemia
3- Nitrosatable

با غلظت یک دوم و سه چهارم غلظت محلول استاندارد استفاده شد. چهار هفته پس از کشت بذور کاهو در ۲۲ آذرماه ۱۴۰۰ و در مرحله پنج تا شش برگی، نشاهای کاهو به گلدان‌های پلاستیکی ۲ لیتری حاوی کوکوپیت و پرلیت (با نسبت ۲ به ۱ حجمی/حجمی) منتقل شدند. برای هر واحد آزمایشی دو گلدان در نظر گرفته شد و در داخل هر گلدان یک بوته کشت شد (مجموعاً ۵۶ گلدان). گلدان‌های حاوی گیاهان آزمایشی در یک گلخانه با دمای ۳±۲۳ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۱۰±۶۰ درصد بر روی سکو چیده شدند. برای تهیه محلول غذایی از آب شرب دانشگاه شهرکرد استفاده شد. بدین منظور ابتدا pH، قابلیت هدایت الکتریکی و غلظت سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، نیترات و کلر آن با استفاده از روش‌های معمول اندازه‌گیری شد (Ali Ehyayi & Behbehanizadeh, 1993). برای تهیه محلول غذایی از فرمولاسیون پیشنهادی دمینگوس و همکاران (Domingues et al., 2012) با کمی تغییرات استفاده شد. در این فرمولاسیون غلظت نیتروژن- نیترات، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد در محلول غذایی به‌ترتیب برابر با ۱۰/۵، ۰/۷، ۶/۲، ۳/۵، ۱/۴ و ۱/۴ میلی‌مولار و غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف برای آهن، منگنز، روی، مس، مولیبدن و بور به‌ترتیب برابر ۶۲/۵، ۶/۳۶، ۰/۵۴، ۰/۲۲، ۰/۰۷ و ۳۲/۴ میکرومولار بود. از آنجایی‌که تأمین نیکل برای گیاهان تغذیه شده با اوره ضروری است بنابراین نیکل با غلظت ۰/۰۴ میکرومولار از منبع سولفات نیکل در تمام محلول‌های غذایی مورد استفاده قرار گرفت (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2011). نیکل به‌عنوان کوفاکتور آنزیم اوره‌آز در هیدرولیز اوره و تبدیل آن به آمونیوم و دی اکسید کربن در گیاهان تغذیه شده با اوره نقش دارد (Marschner, 1995). با لحاظ کردن غلظت عناصر غذایی موجود در آب (جدول ۱)، محاسبات لازم برای حصول به غلظت‌های مورد نظر در محلول‌های غذایی مورد استفاده انجام شد. قابلیت هدایت الکتریکی محلول‌های غذایی تهیه شده بین ۱/۲ تا ۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. همچنین pH محلول‌های غذایی با استفاده از محلول یک مولار اسید سولفوریک حدود ۵/۴ تنظیم شد. پس از انتقال نشاهای کاهو به گلدان‌ها از محلول غذایی تمام غلظت تیمارهای آزمایشی استفاده شد. محلول غذایی روزانه و به‌صورت دستی به گیاهان داده شد. نوع سامانه هیدروپونیک مورد استفاده از نوع باز بود و کسر آبشویی بسته به مرحله رشد گیاه بین ۵ تا ۱۰ درصد درنظر گرفته شد تا از تجمع نمک‌ها در بستر جلوگیری شود. سپس مراقبت‌های زراعی معمول در حین دوره داشت در گلخانه تا زمان برداشت در ۲۲ دیماه ۱۴۰۰ صورت گرفت. در طول دوره آزمایش گیاهان مورد بازبینی روزانه قرار گرفتند تا در صورت وجود علائم ناشی از سمیت اوره به‌صورت کلروز و نکروز حاشیه برگی (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2011) ثبت شوند.

پس از گذشت ۴ هفته، بوته‌ها (شامل شاخساره و ریشه) برداشت شده و وزن تازه نمونه‌ها توسط ترازوی رقومی اندازه‌گیری شد. پس از برداشت، یک بوته برای اندازه‌گیری خصوصیات ظاهری گیاه شامل ارتفاع گیاه، قطر گیاه، حداکثر طول و عرض برگ، تعداد برگ، شاخص سبزینگی برگ و غلظت نیترات اختصاص داده شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع، خط‌کش از محل برش بوته تا کنار بلندترین برگ در هر بوته قرار داده شده و ارتفاع اندازه‌گیری شد. برای اندازه گیری قطر بوته نیز ابتدا محیط بوته در قسمت بالایی آن با استفاده از متر اندازه‌گیری شده و سپس قطر بوته محاسبه شد. حداکثر طول و عرض برگ نیز با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. سبزینگی برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج Hansatech مدل CL-01 اندازه‌گیری شد. بدین منظور برای هر واحد آزمایشی ۱۰ قرائت از برگ‌های مختلف انجام شد و سپس میانگین آن‌ها به‌عنوان شاخص سبزینگی برگ آن واحد در نظر گرفته شد. نمونه‌های شاخساره کاهو به‌مدت ۷۲ ساعت در آون فن‌دار در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شده و پس از آسیاب کردن، غلظت نیتروژن آنها با استفاده از روش کلدال اندازه‌گیری شد (Karla, 1998). به‌منظور اندازه‌گیری غلظت نیترات یکی از گیاهان به دو بخش برگ‌های بیرونی (پیرتر، برگ‌های شماره ۱ تا ۱۰) و برگ‌های درونی (جوان‌تر، برگ‌های شماره ۱۱ به بعد) تقسیم شد (Marsic & Osvald, 2002). سپس غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی و درونی به روش سولفوسالیسیلیک اسید و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Cataldo *et al.*, 1975).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده برای تهیه محلول غذایی

Table 1- Some chemical properties of used water for preparation of nutrient solution

قابلیت هدایت الکتریکی EC	پ.هاش pH	سدیم Na^+	پتاسیم K^+	کلسیم Ca^{2+}	منیزیم Mg^{2+}	نیتروژن نیترات $N\text{-}NO_3^-$	بی کربنات HCO_3^-	کلر Cl^-
($dS\ m^{-1}$)				($mmol\ L^{-1}$)				
0.25	7.6	0.043	0.013	1.0	0.5	0.31	1.5	1.0

غلظت نیترات در کل برگ‌های کاهو با استفاده از میانگین وزنی غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی و درونی محاسبه شد. برای اندازه‌گیری میزان بریکس برگ (میزان مواد جامد محلول) در یکی دیگر از گیاهان برداشت شده، تعداد ۳ برگ بیرونی (پیرتر) و ۳ برگ درونی (جوان‌تر) در هاونگ خرد شدند. سپس عصاره مخلوط خرد شده تهیه و میزان بریکس آن با دستگاه رفراکتومتر مدل Atago اندازه‌گیری شد. نتایج حاصله توسط نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹ تجزیه شده و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر شاخص‌های رشدی کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر ارتفاع کاهو در سطح پنج درصد آماری معنی‌دار شد. در حالی‌که اثر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر دیگر شاخص‌های رشدی از قبیل قطر بوته، طول و عرض برگ و تعداد کل برگ کاهو معنی‌دار نشد (جدول ۲). ارتفاع ساقه در کاهو که آن را می‌توان یکی از شاخص‌های قدرت گیاه در نظر گرفت بستگی به تغذیه، شرایط محیطی (دمای محیط و طول روز) و عادت رشد گیاه دارد (Alberici *et al.*, 2008). نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد اوره در محلول غذایی تا ۱۰ درصد کل نیتروژن مصرفی منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع کاهو در مقایسه با عدم کاربرد اوره در محلول غذایی (نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات) به میزان ۱۸ درصد شد. اما افزایش بیشتر درصد اوره در محلول غذایی تا ۳۰ درصد کل نیتروژن منجر به کاهش معنی‌دار ارتفاع کاهو در مقایسه با نسبت ۱۰ به ۹۰ اوره به نیترات شد. بیشترین ارتفاع کاهو (۱۲/۴ سانتی‌متر) در گیاهان تغذیه شده با نسبت ۱۰ به ۹۰ اوره به نیترات و کمترین آن (۹/۵ سانتی‌متر) در گیاهان تغذیه شده با نسبت ۲۰ به ۸۰ اوره به نیترات در محلول غذایی مشاهده شد (جدول ۳). نتایج نشان داد قطر بوته تحت تأثیر افزایش نسبت اوره به نیترات در محلول غذایی قرار نگرفت. بیشترین قطر بوته (۲۵/۲ سانتی‌متر) و کمترین قطر بوته (۲۳/۳ سانتی‌متر) به‌ترتیب در گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت‌های اوره به نیترات ۳۰ به ۷۰ و ۴۰ به ۶۰ مشاهده شد که البته تفاوت معنی‌داری با قطر گیاه در گیاهان تغذیه شده با نسبت اوره به نیترات صفر به ۱۰۰ نداشت (جدول ۳). نتایج نشان داد طول و عرض برگ کاهو تحت تأثیر افزایش نسبت اوره به نیترات در محلول غذایی قرار نگرفتند. بیشترین طول و عرض برگ به‌ترتیب در گیاهان تغذیه شده با نسبت‌های ۵۰ به ۵۰ و ۴۰ به ۶۰ اوره به نیترات محلول غذایی مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با طول و عرض برگ در گیاهان تغذیه شده با نسبت اوره به نیترات صفر به ۱۰۰ نداشت (جدول ۳). تعداد برگ‌های تشکیل یافته در واحد زمان تحت تأثیر عوامل محیطی نظیر نور، دما، دسترسی به آب و عناصر غذایی است (Samarakoon *et al.*, 2006). بر مبنای نتایج حاصله بیشترین تعداد برگ (۲۵ عدد) و کمترین تعداد برگ (۲۱ عدد) به‌ترتیب در گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت‌های اوره به نیترات ۴۰ به ۶۰ و ۶۰ به ۴۰ مشاهده شد که البته تفاوت معنی‌داری با تعداد برگ در گیاهان تغذیه شده با نسبت اوره به نیترات صفر به ۱۰۰ نداشت (جدول ۳).

برمبنای نتایج این پژوهش جایگزینی بخشی از نیترات محلول غذایی با اوره تأثیری بر هیچ کدام از شاخص‌های رشدی کاهو به غیر از ارتفاع آن نداشت. این مسئله نشان‌دهنده آن است که گیاهان کاهو تغذیه شده با اوره توانسته‌اند به‌طور مؤثری اوره را هیدرولیز کرده و به‌صورت کارا از آن به‌عنوان منبع نیتروژن استفاده کنند. ارتقای رشد گیاهان کاهوی تغذیه شده با اوره و نیکل با بهبود آسیمیلاسیون اوره مرتبط است. گیاهان تأمین شده با نیکل می‌توانند به‌طور مؤثر اوره را هیدرولیز کرده و به‌طور مؤثر از آن به‌عنوان منبع نیتروژن استفاده کنند (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2011).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر ارتفاع و قطر گیاه، طول و عرض برگ و تعداد برگ کاهو

Table 2- Variance analysis (mean square) for the effect of urea:nitrate ratio in nutrient solution on height and diameter of the plant, length and width of the leaf and leaf number of lettuce

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع گیاه Plant height	قطر گیاه Plant diameter	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	تعداد برگ Leaf number
نسبت اوره به نیترات Urea:nitrate ratio	6	3.15*	1.91ns	31.98ns	1.79ns	7.20ns
خطا Error	21	0.83	1.24	26.50	1.39	4.35
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		8.4	4.54	31.3	8.2	9.2

ns غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد

ns Non significant, * significant at 5%

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر ارتفاع و قطر بوته، طول و عرض برگ و تعداد برگ کاهو

Table 3- Mean comparisons of the effect of urea:nitrate ratio in nutrient solution on height and diameter of the plant, length and width of the leaf and leaf number of lettuce

نسبت اوره به نیترات Urea:nitrate ratio	ارتفاع گیاه Plant height	قطر گیاه Plant diameter	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	تعداد برگ Leaf number
	(cm)				
0:100	10.5[bc]	24.6[a]	15.5[a]	14.3[a]	23.0[a]
10:90	12.4[a]	24.4[a]	15.0[a]	13.6[a]	22.0[a]
20:80	9.5[c]	24.9[a]	15.5[a]	14.0[a]	21.8[a]
30:70	10.9[b]	25.2[a]	15.6[a]	14.3[a]	23.0[a]
40:60	11.2[ab]	23.3[a]	15.4[a]	15.3[a]	25.0[a]
50:50	11.2[ab]	25.3[a]	15.9[a]	15.1[a]	23.8[a]
60:40	10.4[bc]	24.3[a]	15.3[a]	13.6[a]	21.0[a]

میانگین‌ها در هر ستون با حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

Data in each column with the same letter are not statistically different at 0.05 probability level based on LSD Test.

نتایج پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که جایگزینی بخشی از نیتروژن محلول غذایی از منبع نیترات و یا نیترات به همراه آمونیوم با اوره تأثیری بر برخی شاخص‌های رشدی گیاهان در کشت‌های هیدروپونیک نداشته است. براساس نتایج پژوهش یوتوتیرات و رامرونگسری (Uathitirat & Ruamrungsri, 2013) در کشت هیدروپونیک کاهو در سیستم لایه نازک محلول غذایی تفاوت معنی‌داری از نظر ارتفاع گیاه در گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی حاوی اوره در فاصله زمانی ۴۵ روز پس از کاشت در مقایسه با همان محلول غذایی اما فاقد اوره وجود نداشت. با این وجود گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی فاقد اوره ارتفاع و عرض بیشتری در مقایسه با گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی حاوی اوره داشتند. همچنین نتایج تحقیقات خان و همکاران (Khan et al., 1999) در کشت هیدروپونیک اسفناج نشان داد که جایگزینی ۲۰ و ۵۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی با اوره تأثیر معنی‌داری بر حداکثر طول برگ و تعداد برگ گیاه در مقایسه با عدم کاربرد اوره (مصرف نیتروژن به‌صورت نیترات و آمونیوم) نداشت که این امر در مطابقت با نتایج پژوهش حاضر است.

نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی هیچ گونه علائم ناشی از سمیت اوره به‌صورت کلروز و نکروز نوک و حاشیه برگ‌ها در گیاهان مورد آزمایش دیده نشد. در این پژوهش غلظت نیتروژن از منبع اوره حداکثر به ۸۸ میلی‌گرم بر لیتر در نسبت ۶۰ به ۴۰ اوره به نیترات رسید. اما این غلظت اوره منجر به بروز سمیت اوره در گیاهان کاهو نشد. به‌طور مشابه خان و همکاران (Khan et al., 1999) گزارش کردند حتی گیاهان اسفناج تغذیه شده با اوره به میزان ۵۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی (۱۱۲ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن) علائم سمیت اوره را نشان ندادند. تان و همکاران (Tan et al., 2000) گزارش کردند هیچ گونه سمیت اوره در گیاهان گوجه فرنگی که ۱۶۸ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن به شکل اوره به همراه نیکل (با غلظت ۰/۱ یا یک میلی‌گرم بر لیتر) در محلول غذایی دریافت کرده بودند مشاهده نشد. طباطبایی (Tabatabaei, 2009) گزارش کرد که هیچ گونه علائم ناشی از سمیت اوره در خیار موقعی که منبع نیتروژن اوره بود مشاهده نشد. خوشگفتارمنش و همکاران (Khoshgoftarmanesh et al., 2011) نشان دادند گیاهان کاهو به خوبی در محلول غذایی حاوی ۲۸۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن از منبع اوره به همراه نیکل رشد کردند بدون این که علائم سمیت اوره را نشان دهند. بنابراین به نظر می‌رسد سمیت اوره در گیاهان در کشت‌های هیدروپونیک در عدم حضور نیکل (Tan et al., 2000) و استفاده از مقادیر زیاد اوره (Luo et al., 1993) بروز کرده است. در بررسی منابع انجام شده اعداد مختلفی برای غلظت نیتروژن از منبع اوره در محلول غذایی برای بروز عوارض ناشی از سمیت آن در گیاهان کشت شده در شرایط هیدروپونیک ارائه شده است. به‌عنوان مثال ایکدا و تان (Ikeda & Tan, 1998) گزارش کردند گیاهان گوجه فرنگی تغذیه شده با اوره در غلظت‌های زیاد نیتروژن (۳۳۶ و ۵۰۴ میلی‌گرم بر لیتر) علائم سمیت اوره را نشان دادند. آن‌ها آستانه سمیت غلظت نیتروژن به شکل اوره را در گوجه فرنگی ۱۶۸ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند. ساواس و همکاران (Savvas et al., 2013) گزارش کردند محدوده تحمل گیاه به غلظت اوره در محلول غذایی نسبت به نیترات باریک‌تر بوده و بسته به نوع گونه گیاهی بین ۱۹۶ تا ۲۵۲ میلی‌گرم بر لیتر است. بنابراین از آنجایی که در این پژوهش حداکثر غلظت نیتروژن به شکل اوره در محلول غذایی (۸۸ میلی‌گرم بر لیتر) در مقایسه با کمترین آستانه سمیت ذکر برای اوره (۱۶۸ میلی‌گرم بر لیتر) در تحقیق ایکدا و تان (Ikeda & Tan, 1998) کمتر بود بنابراین علائم سمیت اوره در گیاهان کاهو مشاهده نشد.

تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر شاخص سبزینگی و میزان بریکس برگ کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر شاخص سبزینگی و میزان بریکس برگ کاهو معنی‌دار نبود

(جدول ۴). کاربرد نسبت ۴۰ به ۶۰ اوره به نیترات در محلول غذایی منجر به بیشترین شاخص سبزینگی در برگ‌های کاهو (۴/۰۰) شد اگرچه تفاوت معنی‌داری با مقادیر این شاخص در برگ‌های گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات نداشت (جدول ۵). شاخص سبزینگی برگ که نشان‌دهنده شدت رنگ سبز است یکی از شاخص‌های کیفی در کاهو می‌باشد. اندازه‌گیری شاخص سبزینگی برگ روشی غیرمخرب برای برآورد میزان کلروفیل برگ است. میزان کلروفیل از معیارهای مشخصی است که به‌عنوان شاخص فعالیت فتوسنتزی در کشاورزی به‌کار می‌رود. از آنجایی‌که نیتروژن جزو سازنده کلروفیل است بنابراین فراهمی و تأمین آن بر میزان کلروفیل گیاه اثر دارد (Marschner, 1995). از طرف دیگر کاربرد اوره در محلول غذایی با تأثیر بر غلظت سایر عناصر غذایی گیاه بر میزان کلروفیل مؤثر است (Tan *et al.*, 2000). در این پژوهش، عدم تأثیر اوره بر شاخص سبزینگی برگ کاهو نشان‌دهنده آن است که گیاهان کاهو از اوره موجود در محلول غذایی به‌صورت مؤثری به‌عنوان منبع نیتروژن استفاده کرده و آن را در ساخت کلروفیل مورد استفاده قرار داده‌اند. در همین زمینه تان و همکاران (Tan *et al.*, 2000) گزارش کردند بین شاخص سبزینگی برگ در گیاهان گوجه‌فرنگی تغذیه شده با اوره در حضور نیکل و گیاهان تغذیه شده با نیترات تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. آن‌ها بیان کردند این امر نشان‌دهنده آن است که اوره در شرایط مناسب می‌تواند به خوبی نیتروژن مورد نیاز گیاه را تأمین کند. چون نیتروژن یکی از مهمترین ترکیبات تشکیل دهنده کلروفیل در گیاهان است. از آنجایی که کاهو برای تهیه سالاد استفاده می‌شود شاخص سبزینگی برگ آن دارای اهمیت زیادی است. زیرا رنگ تیره‌تر کاهو توسط مصرف‌کنندگان ترجیح داده می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی، شاخص سبزینگی برگ تحت تأثیر قرار نگرفت که این مسئله از لحاظ بازارپسندی کاهو بسیار مهم است.

میزان بریکس معیاری برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول میوه‌ها و سبزی‌ها است. از آنجایی‌که اکثر ماده محلول موجود در آب میوه را قندها تشکیل می‌دهند بنابراین این شاخص به‌عنوان معیاری برای تعیین میزان قندهای محلول در میوه‌ها و سبزی‌ها است. به‌طوری‌که افزایش این شاخص در بهبود کیفی کاهو مؤثر است. نتایج نشان داد میزان بریکس برگ کاهو تحت تأثیر افزایش نسبت اوره به نیترات در محلول غذایی قرار نگرفت. بیشترین و کمترین میزان بریکس برگ به‌ترتیب در گیاهان تغذیه شده با نسبت‌های ۲۰ به ۸۰ و صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات محلول غذایی مشاهده شد (جدول ۵). تحقیقات اندکی در مورد تأثیر کاربرد اوره در محلول غذایی بر میزان بریکس انجام شده است. نتایج تحقیقات ژو و همکاران (Zhu *et al.*, 2018) نشان داد جایگزینی ۲۰ درصد نیترات محلول غذایی با اوره منجر به افزایش معنی‌دار میزان قند محلول برگ و ساقه در مقایسه با تیمار نیترات به تنهایی شد. به‌طور عکس باریوسف و همکاران (Bar-Yosef *et al.*, 2009) گزارش کردند جایگزینی آمونیوم محلول غذایی با اوره به‌طور قابل توجهی غلظت گلوکز و فروکتوز در برگ‌ها را کاهش داد که دلیل آن احتمالاً کاهش غلظت فسفر در برگ بود. به‌هرحال با توجه به عدم تأثیر معنی‌دار نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر میزان بریکس برگ کاهو نتایج این پژوهش با نتایج تحقیقات انجام شده در این زمینه مطابقت نداشت.

تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر وزن تازه ریشه و شاخساره کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر وزن تازه ریشه و شاخساره کاهو معنی‌دار نشد (جدول ۴). بیشترین وزن تازه ریشه (۱۲/۳۵ گرم بر گیاه) و کمترین مقدار آن (۹/۹۲ گرم بر گیاه) به‌ترتیب در گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت‌های ۴۰ به ۶۰ و ۶۰ به ۴۰ اوره به نیترات در محلول غذایی مشاهده شد که البته تفاوت معنی‌داری با وزن تازه ریشه گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی فاقد اوره نداشت.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر شاخص سبزینگی برگ، میزان بریکس برگ، وزن تازه ریشه و شاخساره کاهو

Table 4- Variance analysis (mean square) for the effect of urea:nitrate ratio in nutrient solution on leaf greenness index, leaf brix level, root and shoot fresh weights of lettuce

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	شاخص سبزینگی برگ Leaf greenness index	میزان بریکس برگ Leaf brix level	وزن تازه ریشه Root fresh weigh	وزن تازه شاخساره Shoot fresh weigh
نسبت اوره به نیترات Urea:nitrate ratio	6	0.19^{ns}	0.08^{ns}	2.86^{ns}	192.9^{ns}
خطا Error	21	0.14	0.16	4.42	108.0
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)		10.5	12.4	18.7	7.8

^{ns} غیر معنی‌دار

^{ns} Non significant

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر شاخص سبزینگی برگ، میزان بریکس برگ، وزن تازه ریشه و شاخساره کاهو

Table 5- Mean comparisons of the effect of urea:nitrate ratio in nutrient solution on leaf greenness index, leaf brix level, root and shoot fresh weights of lettuce

نسبت اوره به نیترات Urea:nitrate ratio	شاخص سبزینگی برگ Leaf greenness index	میزان بریکس برگ Leaf brix level	وزن تازه ریشه Root fresh weigh (g plant[-1])	وزن تازه شاخساره Shoot fresh weigh (g plant[-1])
0:100	3.49[a]	2.90[a]	11.37[a]	125.0[a]
10:90	3.42[a]	3.25[a]	12.03[a]	139.7[a]
20:80	3.40[a]	3.35[a]	11.55[a]	124.1[a]
30:70	3.72[a]	3.17[a]	10.75[a]	136.1[a]
40:60	4.00[a]	3.30[a]	12.35[a]	135.4[a]
50:50	3.72[a]	3.20[a]	10.65[a]	141.3[a]
60:40	3.73[a]	3.27[a]	9.92[a]	128.8[a]

میانگین‌ها در هر ستون با حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

Data in each column with the same letter are not statistically different at 0.05 probability level based on LSD Test.

همچنین بیشترین وزن تازه شاخساره (۱۴۱/۳ گرم بر گیاه) و کمترین آن (۱۲۴/۱ گرم بر گیاه) به‌ترتیب در گیاهان کاهوی تغذیه شده با محلول‌های غذایی دارای نسبت ۵۰ به ۵۰ و ۲۰ به ۸۰ اوره به نیترات محلول غذایی مشاهده شد (جدول ۵). برمبنای نتایج این پژوهش جایگزینی تدریجی نیترات محلول غذایی با اوره تأثیری بر وزن تازه ریشه و شاخساره کاهو نداشت. این مسئله نشان‌دهنده آن است که گیاهان کاهو تغذیه شده با اوره و نیترات توانسته‌اند به‌طور مؤثری اوره را هیدرولیز کرده و به‌صورت کارا از آن به‌عنوان منبع نیتروژن استفاده کنند. در همین زمینه ایکدا و تان (Ikeda & Tan, 1998) عنوان کردند موقعی که گیاهان گوجه‌فرنگی با محلول غذایی دارای ۱۶۸ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن تغذیه شدند وزن خشک گیاهانی که اوره و نیترات با نسبت ۵۰ به ۵۰ دریافت کرده بودند تقریبا مساوی گیاهانی بود که نیترات به تنهایی و یا نیترات + آمونیوم دریافت کرده بودند. همچنین بین وزن خشک برگ، ساقه، ریشه و کل گیاهانی که مقدار مساوی نیتروژن (۱۶۸ میلی‌گرم بر لیتر) از منبع نیترات به تنهایی و یا نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی دریافت کرده بودند تفاوت معنی‌داری دیده نشد. آن‌ها عنوان کردند کاربرد ترکیبی اوره و نیترات برای رشد کافی گوجه‌فرنگی بدون کاهش در جذب کاتیون‌ها مفید است. از طرف دیگر اوره به‌دلیل ماهیت غیریونی به پایداری pH محلول غذایی نیز کمک می‌کند. به‌طور مشابه گونس و همکاران (Gunes *et al.*, 1996) نشان دادند جایگزینی ۲۰ درصد نیترات محلول غذایی با اوره، اسید آمینه گلایسین و یا مخلوط اسیدهای آمینه اثری بر وزن تازه پیاز نداشته است. همچنین نتایج پژوهش یوتوتیرات و رامرونگسری (Uathitirat & Ruamrungsri, 2013) در کشت هیدروپونیک کاهو در سیستم لایه نازک محلول غذایی نشان داد تفاوت معنی‌داری در وزن خشک گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی حاوی اوره در فاصله زمانی ۴۵ روز پس از کاشت در مقایسه با همان محلول غذایی اما فاقد اوره وجود نداشت که این نتایج در مطابقت با نتایج پژوهش حاضر است.

تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت نیتروژن شاخساره و غلظت نیترات ریشه و شاخساره کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت نیترات ریشه کاهو در سطح پنج درصد آماری و بر غلظت نیتروژن شاخساره و غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی، درونی و همچنین کل برگ‌های کاهو در سطح یک درصد آماری معنی‌دار شد (جدول ۶). نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین غلظت نیتروژن شاخساره در گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت‌های مختلف اوره به نیترات محلول غذایی به استثنای گیاهان تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در مقایسه با عدم کاربرد اوره در محلول غذایی (نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات) مشاهده نشد. بیشترین غلظت نیتروژن شاخساره (۴۴/۶ گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن (۳۴/۹ گرم بر کیلوگرم) به‌ترتیب در گیاهان تغذیه شده با نسبت‌های ۲۰ به ۸۰ و ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات مشاهده شد (جدول ۷). بر مبنای نتایج حاصله، جایگزینی بخشی از نیترات محلول غذایی با اوره تأثیری بر وضعیت تغذیه نیتروژن کاهو (به استثنای گیاهان تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات) نداشته است. این مسئله نشان‌دهنده آن است که اوره کاربردی در محلول غذایی توسط ریشه گیاه جذب شده و پس از آسیمیلاسیون مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که اوره مصرفی در محلول غذایی در کشت‌های هیدروپونیک توسط ریشه گیاه جذب شده و به‌صورت مولکول کامل در برخی محصولات از قبیل غلات (Merigout *et al.*, 2008a) و گوجه‌فرنگی (Tan *et al.*, 2000) در گیاه انتقال مجدد می‌یابد. در همین زمینه مریگوت و همکاران (Merigout *et al.*, 2008b) در تحقیق خود در مورد جذب و آسیمیلاسیون اوره در گیاه آرابیدوپسیس در شرایط هیدروپونیک نشان دادند که اوره قبل از هیدرولیز در محلول غذایی،

مستقیما توسط سلول‌های ریشه آرابیدوپسیس جذب شد. نتایج آزمایش‌های حاصله با استفاده از اوره دارای نیتروژن نشان‌دار (^{15}N) ثابت کرد اوره قادر است از غشای سیتوپلاسمایی سلول‌های ریشه به‌صورت مولکول کامل عبور کرده و این امر به وضعیت نیتروژن اولیه گیاه ارتباطی ندارد. بخشی از اوره در بافت ریشه، توسط اوره‌آز سیتوپلاسمی تجزیه شده و آمونیوم حاصل از آن از طریق چرخه GS-GOGAT[1] آسیمیله شده است. آن‌ها همچنین عنوان کردند بخش قابل توجهی (۲۰ درصد) از اوره جذب شده توسط ریشه‌ها قبل از هیدرولیز توسط آنزیم اوره‌آز سیتوپلاسمی سلول‌های ریشه به قسمت‌های هوایی گیاه انتقال داده می‌شود. در مطابقت با نتایج این پژوهش خان و همکاران (Khan *et al.*, 1999) در بررسی وضعیت نیتروژن شاخساره گیاه اسفناج تحت شرایط کشت هیدروپونیک نشان دادند با جایگزینی ۲۰ و ۵۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی با اوره تفاوت معنی‌داری بین غلظت نیتروژن شاخساره این گیاهان در مقایسه با گیاهان تغذیه شده با محلول غذایی حاوی نیترات و آمونیوم (عدم کاربرد اوره) وجود نداشت. لازم به ذکر است کاهش معنی‌دار غلظت نیتروژن شاخساره کاهو در گیاهان کاهوی تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در مقایسه با سایر نسبت‌ها (جدول ۷) احتمالا می‌تواند به‌دلیل اثر رقت باشد. چرا که گیاهان تغذیه شده با این نسبت بیشترین وزن تازه شاخساره کاهو را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

نتایج نشان داد با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی غلظت نیترات ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین غلظت نیترات ریشه (۲۱۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه) و کمترین آن (۱۲۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه) به‌ترتیب با کاربرد نسبت‌های صفر به ۱۰۰ و ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات محلول غذایی حاصل شد (جدول ۷). همچنین تغذیه گیاهان کاهو با نسبت‌های ۴۰ به ۶۰ و ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات منجر به کاهش غلظت نیترات ریشه کاهو در مقایسه با نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات به‌ترتیب به میزان ۳۱ و ۴۳ درصد شد. بر مبنای نتایج حاصله با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی کاهو به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کمترین غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی (۱۸۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه) با کاربرد نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی و بیشترین آن (۳۱۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه) با کاربرد نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات مشاهده شد. با کاربرد ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد کل نیتروژن به شکل اوره، غلظت نیترات برگ‌های بیرونی در مقایسه با عدم کاربرد اوره به‌ترتیب ۲۹، ۱۷، ۲۶، ۲۰، ۴۱ و ۴۰ درصد کاهش یافت (جدول ۷). به‌طور مشابه با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی غلظت نیترات در برگ‌های درونی کاهو به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کمترین غلظت نیترات در برگ‌های درونی (۱۱۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه) با کاربرد نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی و بیشترین آن (۲۰۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه) با کاربرد نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات مشاهده شد. با کاربرد ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد کل نیتروژن به شکل اوره، غلظت نیترات برگ‌های درونی در مقایسه با عدم کاربرد اوره به‌ترتیب ۱۴، ۴۰، ۳۳، ۳۵، ۴۴ و ۳۶ درصد کاهش یافت (جدول ۷). نتایج تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت نیترات کل برگ‌های کاهو نیز نشان داد با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی غلظت نیترات در کل برگ‌های کاهو به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کمترین غلظت نیترات در کل برگ‌های کاهو (۱۶۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه) با کاربرد نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات در محلول غذایی و بیشترین آن (۲۸۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه) با کاربرد نسبت صفر به ۱۰۰ اوره به نیترات مشاهده شد. با کاربرد ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد کل نیتروژن به شکل اوره، غلظت نیترات کل برگ‌های کاهو در مقایسه با عدم کاربرد اوره به‌ترتیب ۲۸، ۱۹، ۳۰، ۲۵، ۴۳ و ۳۶ درصد کاهش یافت (جدول ۷).

کاهش غلظت نیترات در بخش‌های مختلف کاهو در نتیجه کاربرد اوره در محلول غذایی دلایل مختلفی دارد. از یک طرف اوره اثر بازدارنده بر جریان جذب نیترات داشته (Merigout *et al.*, 2008b) و جذب آن توسط گیاه را کاهش می‌دهد. بنابراین کوددهی با اوره در ترکیب با کودهای حاوی نیترات و آمونیوم راهی برای کاهش غلظت نیترات در گیاهان است. در گیاهان یک سیستم انتقال تخصصی برای تعیین میزان جذب نیترات از محیط توسعه‌یافته است. ژن‌های دخیل در سیستم انتقال نیترات متعلق به ناقلین نیترات/پپتید (NPFs)، ناقل نیترات (NRT2) و ژن‌های مرتبط با آسیمیلاسیون نیترات (NAR2) هستند (Tsay *et al.*, 2007). خانواده NRT2 بخشی از یک ابرخانواده تسهیل‌کننده اصلی جذب نیترات هستند (Gu *et al.*, 2016). سیستم انتقال نیترات القاپذیر است و تحت تأثیر غلظت نیترات و سایر شکل‌های نیتروژن است (Tsay *et al.*, 2007; Zanin *et al.*, 2015). پیشنهاد شده است که دلیل ممانعت اوره از القای جذب نیترات، به‌واسطه فراوانی کمتر ناقلین ZmNRT2.1 و ZmNAR2.2 است (Zanin *et al.*, 2015). نتایج پژوهش‌های قبلی نشان داد که افزودن اوره یا گلیسین به محلول غذایی حاوی نیترات به‌طور قابل توجهی نیترات را کاهش داد و منجر به کاهش ظرفیت جذب نیترات توسط کلم‌پیچ چینی شد (Song *et al.*, 2016).

1- Glutamine Synthetase- Glutamine α-OxoGlutarate Amino Transferaze

جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت نیتروژن شاخساره و غلظت نیترات در ریشه، برگ‌های بیرونی، برگ‌های درونی و کل برگ‌های کاهو

Table 6- Variance analysis (mean square) for the effect of urea:nitrate ratio in nutrient solution on shoot nitrogen concentration and nitrate concentration in root, outer leaves, inner leaves and all leaves of lettuce

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	نیتروژن شاخساره Shoot nitrogen	نیترات ریشه Root nitrate	نیترات برگ‌های بیرونی Outer leaves nitrate	نیترات برگ‌های درونی Inner leaves nitrate	نیترات کل برگ‌ها Total Nitrate of leaves
نسبت اوره به نیترات Urea:nitrate ratio	6	45.58**	420819*	751247**	439623**	625165**
خطا Error	21	9.78	140435	79064	74194	54024
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		7.5	21.0	11.8	18.3	11.0

* معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

* significant at 5%, * significant at 1%

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر نسبت اوره به نیترات محلول غذایی بر غلظت نیتروژن شاخساره و غلظت نیترات در ریشه، برگ‌های بیرونی، برگ‌های درونی و کل برگ‌های کاهو

Table 7- Mean comparisons of the effect of urea:nitrate ratio in nutrient solution on shoot nitrogen concentration and nitrate concentration in root, outer leaves, inner leaves and all leaves of lettuce

نسبت اوره به نیترات Urea:nitrate ratio	نیتروژن شاخساره Shoot nitrogen	نیترات ریشه Root nitrate	نیترات برگ‌های بیرونی Outer leaves nitrate	نیترات برگ‌های درونی Inner leaves nitrate	نیترات کل برگ‌ها Nitrate of all leaves
0:100	44.1a	2141a	3156a	2085a	2852a
10:90	41.0a	1863ab	2253bcd	1798a	2055bc
20:80	44.6a	2069a	2629b	1257b	2314b
30:70	40.6a	1883ab	2340bc	1390b	1993bc
40:60	43.5a	1480bc	2526b	1364b	2130bc
50:50	34.9b	1225c	1861d	1161b	1621d
60:40	43.2a	1822ab	1986cd	1343b	1812cd

میانگین‌ها در هر ستون با حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

Data in each column with the same letter are not statistically different at 0.05 probability level based on LSD Test.

از طرف دیگر اوره جذب شده توسط گیاه در سیتوپلاسم سلول‌های ریشه و برگ توسط آنزیم اوره‌آز سیتوپلاسمی هیدرولیز شده و آمونیوم حاصل از آن از طریق چرخه GS-GOGAT آسیمیله شده (Merigout *et al.*, 2008b) و ضمن تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه در کاهش غلظت نیترات در بخش‌های مختلف گیاه مؤثر است.

این مطلب نشان‌دهنده آنست که اوره می‌تواند به‌صورت کارا و به‌عنوان منبع نیتروژن مورد استفاده کاهو قرار گیرد. لازم به ذکر است کاهش غلظت نیترات محلول‌های غذایی مورد استفاده در این پژوهش با افزایش نسبت اوره به نیترات در تیمارهای آزمایشی و جایگزینی نیتروژن آن از منبع اوره نیز در کاهش غلظت نیترات در کاهو مؤثر بوده است. این در حالی است که بررسی وضعیت تغذیه نیتروژن شاخساره کاهو حاکی از آن است که غلظت نیتروژن شاخساره به استثنای گیاهان تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات تحت تأثیر کاربرد اوره در محلول غذایی قرار نگرفته است. بنابراین به نظر نمی‌رسد مشکلی از لحاظ تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاهان کاهو با افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی وجود داشته باشد. نتایج تحقیقات انجام شده حاکی از آن است که جایگزینی اوره به جای نیترات می تواند از تجمع نیترات در سبزی‌های میوه‌ای نظیر گوجه فرنگی (Tan *et al.*, 2000) و سبزی‌های برگی نظیر کاهو (Luo *et al.*, 1993) جلوگیری کند. خان و همکاران (Khan *et al.*, 1999) در کشت هیدروپونیک اسفناج گزارش کردند بیشترین غلظت نیترات شاخساره در تیمار عدم کاربرد اوره (مصرف نیتروژن به‌صورت نیترات و آمونیوم) و کمترین آن با کاربرد ۵۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی به‌صورت اوره دیده شد. نتایج نشان داد با افزایش درصد اوره در محلول غذایی غلظت نیترات شاخساره اسفناج کاهش یافت. تان و همکاران (Tan *et al.*, 2000) گزارش کردند با کاربرد اوره در محلول غذایی با و بدون کاربرد نیکل، غلظت

نیترات در برگ‌های گوجه‌فرنگی در مقایسه با گیاهان تغذیه شده با نیترات به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2012) گزارش کردند غلظت نیترات شاخساره کاهو در بوته‌های رشد کرده در محلول غذایی حاوی اوره از بوته‌های تغذیه شده با نیترات آمونیوم کمتر بود. کاهش غلظت نیترات گیاه در نتیجه کاربرد اوره در محلول غذایی در کاهو (Hosseini et al., 2012)، اسفناج (Khan et al., 1999, 2000)، پیاز (Gunes et al., 1996)، خیار (Tabatabaei, 2009)، کلم‌پیچ چینی (Zhu et al., 2018) و گوجه‌فرنگی (Tan et al., 2000) نیز مشاهده شده است که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

نتایج نشان داد غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی کاهو بیشتر از برگ‌های درونی کاهو بود (جدول ۷). بر اساس پژوهش‌های انجام شده بخش‌های مختلف گیاهان نیترات را به‌طور مساوی در خود تجمع نمی‌دهند. در کاهو برگ‌های بیرونی در مقایسه با برگ‌های درونی تا پنج برابر نیترات بیشتری داشتند (Abu-Rayyan et al., 2004). نیترات توسط ریشه جذب شده و از طریق آوندهای چوبی به بخش‌های هوایی گیاه منتقل می‌شود. از آنجایی که سرعت حرکت شیره خام در آوند چوب تابع میزان تعرق گیاه می‌باشد بنابراین بخش‌هایی که سطح بیشتری دارند تعرق بیشتری داشته و میزان بیشتری نیترات دریافت می‌کنند (Marschner, 1995). بنابراین از آن‌جایی که سطح برگ‌های بیرونی کاهو خیلی بیشتر از سطح برگ‌های درونی آن می‌باشد این مسئله منجر به غلظت بیشتر نیترات در برگ‌های بیرونی کاهو شده است. از طرف دیگر نیترات اغلب در قسمت‌های مسن گیاه مثل برگ‌های بیرونی تجمع می‌یابد زیرا در این قسمت‌ها برخلاف گیاهان نسبتا جوان فعالیت آنزیم احیاکننده نیترات کمتر است (Biemond & Vos, 1992). در مورد غلظت استاندارد نیترات در سبزی‌های برگی اتحادیه اروپا مقدار ۲۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه را به‌عنوان حد مجاز معرفی کرده است (Santamaria, 2006). براساس نتایج جدول ۷ غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی و کل برگ‌های گیاهان تغذیه شده با نسبت اوره به نیترات صفر به ۱۰۰ (فاقد اوره) بیشتر از ۲۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تازه بود. اما کاربرد اوره در محلول غذایی به جای نیترات حتی در مقادیر کم (نسبت ۱۰ به ۹۰ اوره به نیترات) منجر به کاهش غلظت نیترات در برگ‌های بیرونی و کل برگ‌های کاهو به زیر حد مجاز شد. این مطلب نشان‌دهنده آن است که حتی جایگزینی ۱۰ درصد نیتروژن محلول غذایی با اوره منجر به کاهش غلظت نیترات در شاخساره کاهو شده است. به‌هرحال این کاهش از لحاظ تغذیه‌ای دارای اهمیت زیادی بوده و مصرف این نوع کاهو خطری را برای سلامتی انسان به لحاظ غلظت نیترات ایجاد نمی‌کند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی تا نسبت ۶۰ به ۴۰ تأثیر معنی‌داری بر وزن تازه ریشه و شاخساره کاهو نداشت. همچنین هیچ گونه علائم ناشی از سمیت اوره به‌صورت کلروز و نکروز نوک و حاشیه برگ‌ها در گیاهان مورد آزمایش دیده نشد. از طرف دیگر هیچ کدام از شاخص‌های رشدی به استثنای ارتفاع گیاه تحت تأثیر افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی قرار نگرفتند. همچنین غلظت نیتروژن شاخساره (به استثنای گیاهان تغذیه شده با نسبت ۵۰ به ۵۰ اوره به نیترات) تحت تأثیر کاربرد اوره در محلول غذایی قرار نگرفت. این امر نشان‌دهنده آن است جایگزینی بخشی از نیترات محلول غذایی با اوره با تأمین نیتروژن مورد نیاز کاهو رشد آن را تضمین کرده است. احتمالا کاربرد اوره با غلظت زیر حد آستانه سمیت اوره برای گیاهان (۱۶۸ میلی‌گرم بر لیتر) و استفاده از نشاهای یک ماهه کاهو که دارای سیستم ریشه‌ای کامل بودند در این امر مؤثر بود. با این حال افزایش نسبت اوره به نیترات محلول غذایی منجر به کاهش تجمع نیترات در ریشه و شاخساره کاهو شد که از لحاظ سلامتی مصرف‌کننده دارای اهمیت زیادی است. بر مبنای نتایج این پژوهش و بر اساس وزن تازه شاخساره و غلظت نیترات در کل برگ‌های کاهو، جایگزینی ۵۰ درصد نیترات محلول غذایی با اوره برای تولید کاهوی فرانسوی قرمز در کشت هیدروپونیک قابل توصیه است. این مسئله در مدیریت محلول‌های غذایی در کشت‌های هیدروپونیک از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا کود اوره از کودهای نیترات ارزان‌تر بوده و کاربرد آن در محلول‌های غذایی در کاهش هزینه‌های تولید مؤثر است.

References

1. Abu-Rayyan, A., Khraiwesh, B., & Al-Ismail, K.M. (2004). Nitrate content in lettuce (*Lactuca sativa* L.) heads in relation to plant spacing, nitrogen form and irrigation level. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *84*(9), 931-936. https://doi.org/10.1002/jsfa.1733
2. Alberici, A., Quattrini, E., Penati, M., Martinetti, L., Marino-Gallina, P., & Ferrante, A. (2008). Effect of the reduction of nutrient solution concentration on leafy vegetables quality grown in floating system. *Acta Horticulturae, 801*, 1167-1176. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.801.142
3. Ali Ehyayi, M., & Behbehanizadeh, A.A. (1993). *Methods of Soil Analysis*. Soil and Water Research Institute Press, Tehran. (In Persian)
4. Bar-Yosef, B., Mattson, N.S., & Lieth, H.J. (2009). Effects of NH_4:NO_3: urea ratio on cut roses yield, leaf nutrients content and proton efflux by roots in closed hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, *122*(4), 610–619. https://

doi.org/10.1016/j.scienta.2009.06.019
5. Biemond, H., & Vos, J. (1992). Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. 2: The partitioning of dry matter, nitrogen and nitrate. *Annals of Botany*, *70*(1), 37-45.
6. Cataldo, D., Maroon, M., Schrader, L.E., & Youngs, V.L. (1975). Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *6*(1), 71-80. https://doi.org/10.1080/00103627509366547
7. Domingues, D.S., Takahashi, H.W., Camara, C.A.P., & Nixdorf, S.L. (2012). Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. *Computers and Electronics in Agriculture, 84*(1), 53-61. https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.006
8. Gu, C.S., Song, A.P., Zhang, X.X., Wang, H.B., Li, T., Chen, Y., Jiang, J.F., Chen, F.D., & Chen, S.M. (2016). Cloning of chrysanthemum high-affinity nitrate transporter family CmNRT2) and characterization of CmNRT2.1. *Scientific Reports*, *6*, 23462. https://doi.org/10.1038/srep23462
9. Gunes, A., Inal, A., & Mehmet, A. (1996). Reducing nitrate content of NFT grown winter onion plants (*Allium cepa* L.) by partial replacement of NO_3^- with amino acid in nutrient solution. *Scientia Horticulturae, 65*(2-3), 203-208. https://doi.org/10.1016/0304-4238(95)00864-0
10. Hosseini, F., Khoshgoftarmanesh, A.H., & Afyuni, M. (2012). Influence of nickel nutrition and nitrogen source on growth and yield of lettuce in hydroponic culture. *Journal of Soil and Plant Interactions, 3*(1), 53-62. (In Persian with English abstract)
11. Ikeda, H., & Tan, X. (1998). Urea as an organic nitrogen source for hydroponically grown tomatoes in comparison with inorganic nitrogen sources. *Soil Science and Plant Nutrition*, *44*(4), 609-615. https://doi.org/10.1080/00380768.1998.10414484
12. Karla, Y.P. (1998). *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press, Taylor & Francis Group. London.
13. Khan, N.K., Watanabe, M., & Watanabe, Y. (1999). Effect of different concentrations of urea with or without nickel addition on spinach (*Spinacia oleracea* L.) growth under hydroponic culture. *Soil Science and Plant Nutrition, 45*(3), 569-575. https://doi.org/10.1080/00380768.1999.10415820
14. Khan, N.K., Watanabe, M., & Watanabe, Y. (2000). Effect of partial urea application on nutrient absorption by hydroponically grown spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Soil Science and Plant Nutrition*, *46*(1), 199-208. https://doi.org/10.1080/00380768.2000.10408775
15. Khoshgoftarmanesh, A.H., & Bahmanziari, H. (2012). Stimulating and toxicity effects of nickel on growth yield and fruit quality of cucumber supplied with different nitrogen sources. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 175*(3), 474-481. https://doi.org/10.1002/jpln.201100241
16. Khoshgoftarmanesh, A.H., Hosseini, F., & Afyuni, M. (2011). Nickel supplementation effect on the growth, urease activity and urea and nitrate concentrations in lettuce supplied with different nitrogen sources. *Scientia Horticulturae*, *130*(2), 381-385. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.009
17. Luo, J., Lian, Zh., & Yan, X. (1993). Urea transformation and the adaptability of three leafy vegetables to urea as a source of nitrogen in hydroponic culture. *Journal of Plant Nutrition*, *16*(5), 797-812. https://doi.org/10.1080/01904169309364575
18. Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London.
19. Marsic, N.K., & Osvald, J. (2002). Effects of different nitrogen levels on lettuce growth and nitrate accumulation in iceberg lettuce (*Lactuca sativa* var. Capitata) grown hydroponically under greenhouse conditions. *Gartenbauwissenschaft, 67*(4), 128-134.
20. Merigout, P., Gaudon, V., Quiller, I., Briand, X., & Daniel-Vedele, F. (2008a). Urea use efficiency of hydroponically grown maize and wheat. *Journal of Plant Nutrition, 31*(3), 427–443. https://doi.org/10.1080/01904160801894970
21. Merigout, P., Lelandais, M., Bitton, F., Renou, J.P., Briand, X., Meyer, C., & Daniel-Vedele, F. (2008b). Physiological and transcriptomic aspects of urea uptake and assimilation in arabidopsis plants. *Plant Physiology, 147*(3), 1225-1238. https://doi.org/10.1104/pp.108.119339
22. Risch, H.A., Jain, M., Choi, N.W., Fodor, J.G., Pfeiffer, C.J., Howe, G.R., Harrison, L.W., Craib, K.J.P., & Miller, A.B. (1985). Dietary factors and the incidence of cancer of the stomach. *American Journal of Epidemiology*, *122*(6), 947-949. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a114199
23. Samarakoon, U.C., Weerasighe, P.A., & Weerakodi, A.P. (2006). Effect of electrical conductivity (EC) of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) in stationary culture. *Tropical Agricultural Research, 18*(1), 13-21.
24. Santamaria, P. (2006). Nitrate in vegetables: toxicity content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 86*(1), 10-17. https://doi.org/10.1002/jsfa.2351
25. Savvas, D., Gianquinto, G.P., Tüzel, Y., & Gruda, N. (2013). Soilless Culture. p. 303-354. In: Baudoin, W., Nono-Womdim, R., Lutaladio, N., Hodder, A., Castilla, N., Leonardi, C., De Pascale, S., Qaryouti, M. (eds.) Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops. Principles for Mediterranean Climate Areas. FAO. Rome.
26. Silva, J., França, M., Gomide, F., & Magalhaes, J. (2013). Different nitrogen sources affect biomass partitioning

and quality of potato production in a hydroponic system. *American Journal of Potato Research*, *90*(2), 179-185. https://doi.org/10.1007/s12230-012-9297-5
27. Song, S.W., Li, G., Sun, G.W., Liu, H.C., & Chen, R.Y. (2016). Uptake kinetics of different nitrogen forms by Chinese Kale. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *47*(11), 1372–78. https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1178279
28. Tabatabaei, S.J. (2009). Supplements of nickel affect yield, quality, and nitrogen metabolism when urea or nitrate is the sole nitrogen source for cucumber. *Journal of Plant Nutrition*, *32*(5), 713-724. https://doi.org/10.1080/01904160902787834
29. Tan, X.W., Ikeda, H., & Oda, M. (2000). Effects of nickel concentration in the nutrient solution on the nitrogen assimilation and growth of tomato seedlings in hydroponic culture supplied with urea or nitrate as the sole nitrogen source. *Scientia Horticulturae*, *84*(3-4), 265–273. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00107-7
30. Tsay, Y.F., Chiu, C.C., Tsai, C.B., Ho, C.H., & Hsu, P.K. (2007). Nitrate transporters and peptide transporters. *FEBS Letters*, *581*(12), 2290–300. https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.04.047.
31. Uathitirat, J., & Ruamrungsri, S. (2013). Effects of urea as a nitrogen source on growth of lettuce grown in hydroponic. P. 37-39. In International Graduate Research Conference. 20 December 2013. Chiang Mai University, Thailand.
32. Zanin, L., Zamboni, A., Monte, R., Tomasi, N., Varanini, Z., Cesco, S., & Pinton, R. (2015). Transcriptomic analysis highlights reciprocal interactions of urea and nitrate for nitrogen acquisition by maize roots. *Plant and Cell Physiology*, *56*(3), 532-48. https://doi.org/10.1093/pcp/pcu202
33. Zhu, Y., Li, G., Liu, H., Sun, G., Chen, R., & Song, S. (2018). Effects of partial replacement of nitrate with different nitrogen forms on the yield, quality and nitrate content of Chinese kale. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *49*(11), 1384-1393. https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1464179
34. Zhu, Z., Gerendas, J., & Sattelmacher, B. (1997). Effects of Replacing of Nitrate with Urea or Chloride on the Growth and Nitrate Accumulation in Pak-Choi in the Hydroponics. p. 963-964. In: Ando, T., Fujita, K., Mae, T., Matsumoto, H., Mori, S., Sekiya, J. (eds.) Plant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. The Netherlands.